

## DÉGRADATION PAR DES CHAMPIGNONS LIGNIVORES DE LA PAROI CELLULAIRE DE PIN TRAITÉ À DES DOSES SUB-LÉTALES DE PRODUIT DE PRÉSERVATION CHLORÉ

par Danièle DIROL\*

**RÉSUMÉ** — Des cubes d'aubier de Pin sylvestre traités à des doses sub-létales par un produit de préservation chloré ont été exposés pendant 8 et 12 semaines à des cultures de *Coniophora puteana* et de *Trametes versicolor*. La confrontation des champignons avec le bois traité a été observée en microscopie optique et électronique à balayage. La dose la plus faible appliquée entraîne rapidement l'inactivation de l'agent de pourriture cubique dont le développement et l'action destructrice ont été constatés importants sur le bois traité uniquement avec le solvant. Bien qu'il s'agisse de bois résineux exposé à *Trametes versicolor*, il faut comme sur le hêtre des doses très importantes de produit pour protéger le bois contre ce champignon. La formation de cristaux dans les éléments du plan ligneux, indépendants des formations fongiques pour les deux champignons mais plutôt issus du produit lui-même, pose le problème de leur influence sur les hyphes du champignon qui dans le cas de *Trametes versicolor* continuent leur action de destruction.

**SUMMARY** — Cubic samples of scots pine sapwood treated with sub-lethal concentrations of a chlorated preservative were exposed during 8 and 12 weeks to culture of *Coniophora puteana* and *Trametes versicolor*. The confrontation of fungi with treated wood was observed in light and scanning electron microscopy. The smallest amount applied inactivated cubic rot fungi whose development and decay action were very pronounced in wood only treated with solvent. Similarly to beech exposed to *Trametes versicolor*, for soft woods, it is also necessary to apply large amounts of preservative to obtain an effect. Crystalline formations observed in two cases are not always due to the fungus but rather to the preservative itself; they stress the problem of their influence in front of the hyphae of fungi. In the case of *Trametes versicolor*, it goes on its destructive action.

**MOTS CLÉS** : *Trametes versicolor*, *Coniophora puteana*, aubier de pin sylvestre, produit de préservation chloré, doses sub-létales, formations cristallines.

### INTRODUCTION

La colonisation et la phase active d'altération du bois par des champignons lignivores ont été abondamment étudiées (WILCOX, 1970; LIESE, 1970; DIROL, 1976, 1978; RUEL & al., 1981; HIGHLEY & MURMANIS, 1984) simul-

\* Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, 10, Avenue de St Mandé, F-75012 Paris.

tanément aux progrès de la préservation permettant aux essences sensibles d'acquiescer une durabilité conférée vis-à-vis de ces organismes.

La protection apportée aux bois par les produits de préservation est dans l'ensemble satisfaisante de par l'efficacité des matières actives utilisées et les moyens de traitements mis en œuvre. Toutefois, traiter un bois contre une éventuelle attaque fongique n'est pas une opération simple car le matériau est très diversifié tant au point de vue des éléments cellulaires que des constituants de la paroi elle-même. La matière active fongicide doit pouvoir les pénétrer et le traitement de certaines essences réfractaires comme l'épicéa soulève des difficultés.

De plus, un traitement fongicide vise des organismes microscopiques capables de se répandre dans tout le plan ligneux, pour lesquels, la plupart du temps, une barrière de cellules traitées ne suffit pas à arrêter la progression à l'intérieur de la pièce de bois.

Les possibilités qu'offre actuellement la microscopie électronique pour l'étude de la préservation du bois; techniques histo-chimiques de coloration, d'extraction, d'analyses par micro-sonde adaptée à la microscopie ont permis ces vingt dernières années d'étudier les voies de pénétration et de fixation des matières actives des produits commercialisés (WILCOX & al., 1974; ZICHERMAN, 1975; PARAMESWARAN & LIESE, 1982).

Il est indispensable de connaître comment diffusent les produits dans le bois afin d'améliorer leur répartition. Si les moyens de fixation ont permis une bonne observation de l'ultrastructure, si l'analyse des produits par rayons X est tout à fait possible, les résultats obtenus sont souvent très difficiles à interpréter et la relation produit-attaque reste encore très incertaine. C'est pourquoi, l'idéal serait, par des observations qualitatives, de pouvoir constater une corrélation entre le produit appliqué à des doses inférieures au seuil d'efficacité connu et l'attaque de la paroi ligneuse par le champignon. L'efficacité du produit pourrait alors être appréciée ainsi que sa répartition au sein du plan ligneux et même de la cellule. C'est ce que nous nous proposons d'observer avec un produit de préservation chloré commercialisé appliqué à différentes concentrations dont certaines sont reconnues insuffisantes à la suite des essais effectués selon la Norme Européenne EN-113 (NF X 41-552).

Il faut remarquer que la majeure partie des travaux réalisés dans ce domaine a porté tout particulièrement sur les sels (cuivre-chrome-arsenic ou étain). Leur étude est beaucoup plus aisée que celle du pentachlorophénol pour lequel le chlore pose des problèmes nombreux tels que la sublimation.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

Des cubes d'aubier de pin sylvestre de 1,5 cm de côté, orientés de manière identique, provenant d'une même latte (les valeurs de textures sont sensiblement les mêmes, entre 25 et 30 %) ont été traités sous vide selon les directives de la Norme Européenne EN-113 avec le produit de préservation dilué dans le ben-

zène aux concentrations de 0 - 20 - 30 et 50 litres par mètre cube de bois. Ce produit de préservation est une formulation commerciale à base de pentachlorophénol (PCP) qui comporte, outre cette matière active, des adjuvants de fixation : polymères synthétiques (résines). La quantité de PCP appliquée est en réalité de 1-1,5 et 2,5 kg par mètre cube de bois. Une série de témoins sans aucun traitement a été également prévue. Deux types de pourriture sont étudiés avec *Coniophora puteana* (Schum. : Fr.) Karst. provoquant une pourriture cubique et *Trametes versicolor* (L. : Fr.) Pilat agent de pourriture fibreuse blanche plus connu pour attaquer les bois feuillus comme le hêtre (DIROL, 1976). Ces deux champignons sont utilisés dans les essais normalisés et leur seuil d'efficacité se situe aux environs de 40 l/m<sup>3</sup> pour *C. puteana* sur le pin et est supérieur à 200 l/m<sup>3</sup> pour *T. versicolor* sur le hêtre.

Deux périodes d'exposition sur le milieu classique malt agar ont été choisies : 8 et 12 semaines avec 10 échantillons pour chaque champignon et chaque concentration : 2 sont destinés aux observations en microscopie optique, 2 aux observations en microscopie électronique à balayage et 6 pour le calcul de la perte de masse donnant quantitativement le taux de disparition des constituants de la paroi cellulaire.

### RÉSULTATS DE L'ALTÉRATION DU BOIS DANS SA MASSE

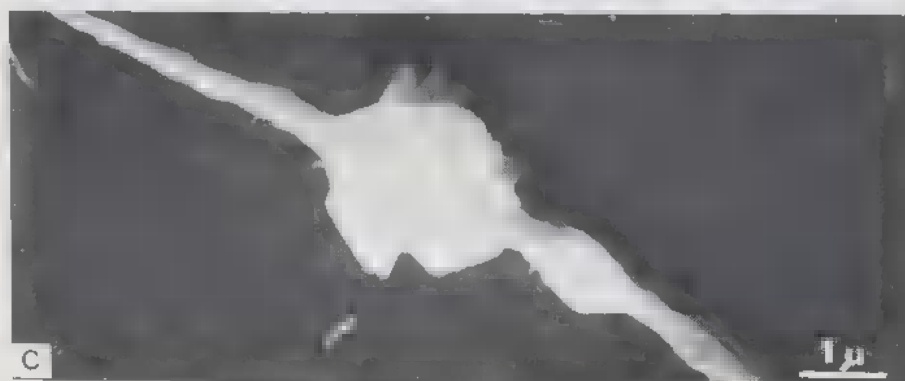
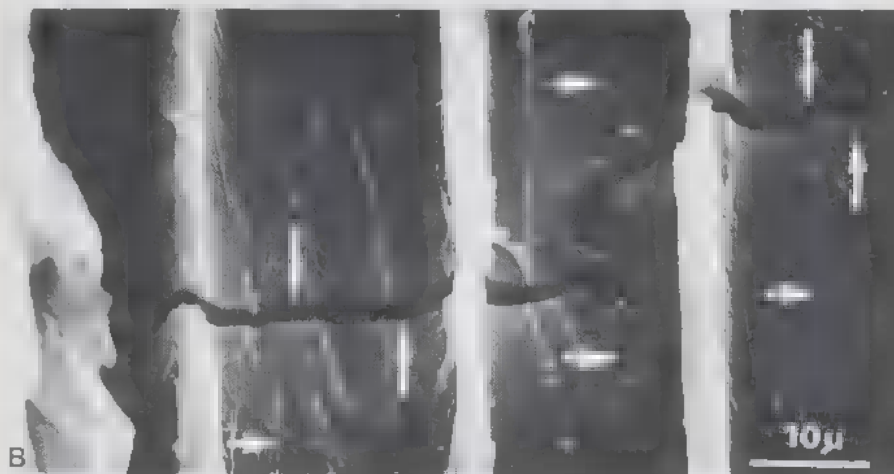
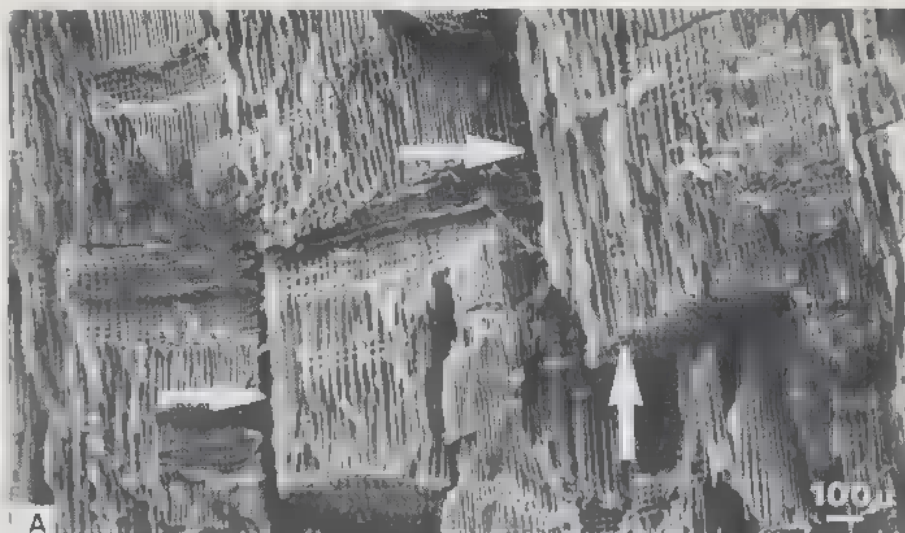
Les valeurs moyennes des pertes de masse obtenues avec les cubes servant de contrôle d'attaque sont données dans le tableau 1 :

Concentrations du produit	<i>CONIOPHORA PUTEANA</i>		<i>TRAMETES VERSICOLOR</i>	
	8 semaines	12 semaines	8 semaines	12 semaines
0 = témoins	51	45	9,5	15,6
Benzène pur	48	59	8,4	17,5
20 l/m <sup>3</sup> de bois	1,9	3,2	6,2	11,9
30 l/m <sup>3</sup> de bois	0,6	1,0	6,0	10,3
50 l/m <sup>3</sup> de bois	0,0	1,1	3,9	7,4

Tableau 1 - Résultats des pertes de masse obtenues sur les échantillons exposés aux cultures (% de la masse sèche initiale).

Table 1 - Results of weight losses obtained on samples exposed to cultures (% of the initial dry weight).

Les résultats obtenus amènent les remarques suivantes :



- Les pertes de masse obtenues avec *Coniophora puteana* sont très importantes pour les témoins et le benzène : ce champignon est en général très virulent et dans le cas présent d'autant plus que les éprouvettes sont de très petite taille. Elles sont moins fortes avec *Trametes versicolor* réputé plus actif sur les feuillus; il faut cependant constater qu'après 12 semaines elles ne sont pas négligeables.

- Le rôle du benzène n'est pas le même après 8 ou 12 semaines dans les deux cas, une stimulation du champignon (très nette pour *C. puteana*) aurait plutôt lieu après la seconde période; ce phénomène a lieu d'ailleurs avec certains solvants; c'est parfois le cas également avec le xylène, alors que le white spirit aurait à lui seul un effet nocif sur le champignon (DIROL, 1986).

- Dès l'application de la première concentration du produit chloré les pertes de masse sont très faibles pour *C. puteana*. Par contre, pour *T. versicolor*, bien que les pertes de masses des témoins soient moins importantes, les différentes concentrations ne parviennent pas à protéger complètement le bois.

Les observations microscopiques des plans ligneux provenant des échantillons vont permettre d'apprécier qualitativement le développement fongique dans chacun des cas.

## DÉGRADATION DE L'AUBIER DE PIN SYLVESTRE PAR *CONIOPHORA PUTEANA*

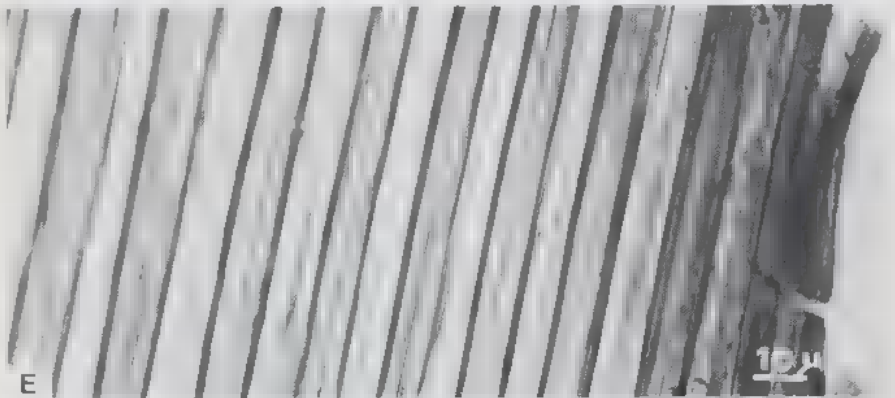
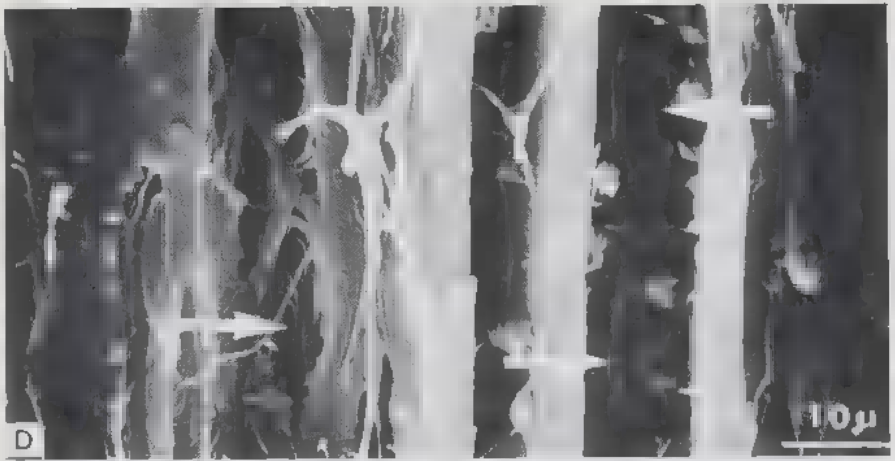
### 1 - Observation des éprouvettes témoins (aucun traitement)

Comme on peut s'y attendre avec les valeurs obtenues sur les pertes de masse, les éléments du bois après 8 ou 12 semaines d'exposition sont considérablement dégradés et l'observation à faible grossissement du plan ligneux montre les fractures typiques de la pourriture cubique avec les fissures et craquelures selon les trois plans du bois (Fig. A). Il va de soi que le bois est extrêmement fragilisé.

Comme cela avait été observé lors de l'étude d'un autre champignon de pourriture cubique, *Serpula lacrymans* (DIROL, 1978), les fissures visibles à l'œil nu ou à la loupe se retrouvent sur le plan microscopique; le départ irrégulier des constituants de la paroi entraîne des tensions provoquant les fentes (Fig. B, flèches). La microscopie électronique à balayage permet également d'observer

Fig. A - Fractures typiques de la pourriture cubique sur les témoins exposés 8 semaines à *Coniophora puteana* (MEB). Fig. B - Formation de fentes transversales et de cavités issues des hyphes dans le bois final attaqué par *Coniophora puteana* après 8 semaines (MEB). Fig. C - Hyphe de *Coniophora puteana* présentant un cristal octaédrique (MEB).

Fig. A - Typical breaks of cubic rot on control samples exposed during 8 weeks to *Coniophora puteana* (SEM). Fig. B - Formation of transverse splits and cavities from hyphae in late wood decayed by *Coniophora puteana* after 8 weeks (SEM). Fig. C - *Coniophora puteana* hyphae showing an octahedral crystal (SEM).



la formation de cavités allongées (en « boutonnière ») à partir de la couche  $S_3$ , vraisemblablement en profondeur dans la couche  $S_2$  où elles suivent l'orientation des microfibrilles de cellulose. Elles n'apparaissent que dans le bois final dont la couche  $S_2$  est riche en cellulose (les agents de pourriture cubique mettant à profit ce constituant de la paroi cellulaire).

Les filaments mycéliens observés dans les fibres présentent sur leur trajet des cristaux (Fig. C). Ceux-ci ont été observés par KAARIK (1978) et déjà NOBLES (1948) les décrivait comme étant octaédriques.

## 2 - Observations des éprouvettes uniquement traitées par le solvant (benzène)

Après 8 semaines d'exposition l'allure de la dégradation est sensiblement la même que dans le bois non traité. les filaments sont nombreux, les punctuations déformées, les cavités déjà bien visibles. Après 12 semaines, celles-ci sont extrêmement profondes (Fig. D).

## 3 - Observations de l'efficacité absolue du produit de préservation

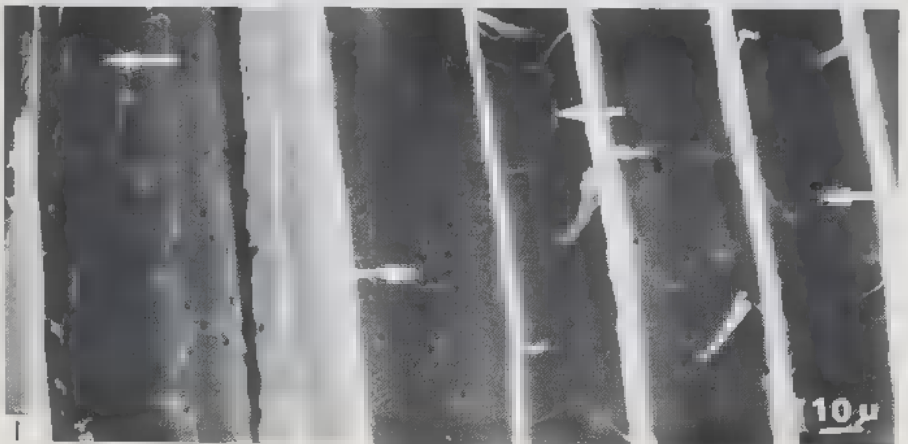
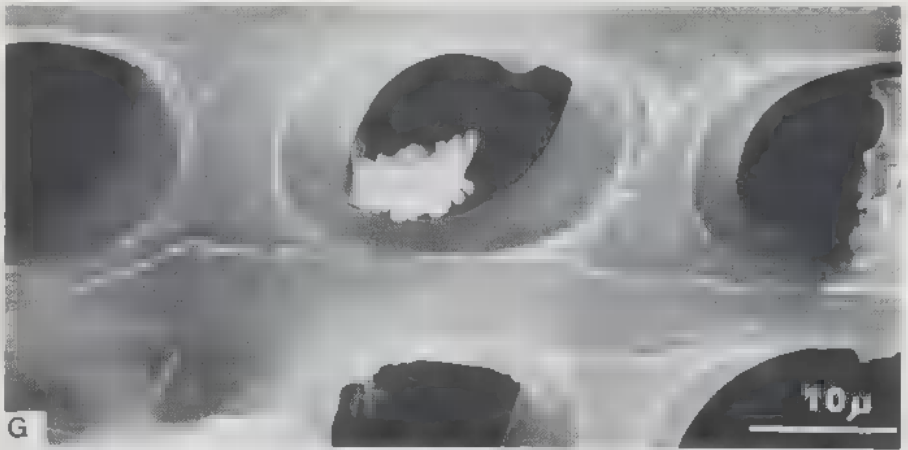
- Traitement du bois à  $20 \text{ l/m}^3$  : après 8 semaines d'exposition, le plan ligneux est peu dégradé et les hyphes ne sont plus reconnaissables. Par contre, on observe des cristaux nombreux rassemblés, en général, sur les punctuations aréolées. Le fond des parois du bois initial est encore attaqué puisque la  $S_3$ , sans doute fragilisée, a disparu avec la coupe laissant apparaître très souvent l'orientation typique de la  $S_2$ . Dans le bois final aucune dégradation n'est visible avec un temps d'exposition plus long, l'attaque paraît plus profonde mais elle est localisée sur le bord des échantillons facilement accessible en culture par le mycélium; les couches profondes ne sont pas atteintes. Sur la Fig. E, on peut observer cet arrêt de l'attaque après les 4 ou 5 premières cellules. Les cavités « en boutonnière » se retrouvent dans le bois final.

- Traitement du bois à  $30 \text{ l/m}^3$  : après 8 semaines d'exposition, de rares filaments accompagnés de cavités très peu nombreuses sont encore visibles au bord des coupes. A 12 semaines, l'attaque n'a pas eu lieu pour autant et l'on constate encore dans les cellules du parenchyme des rayons des cristaux, plus

---

Fig. D - Formation de cavités allongées et profondes dans le bois final après 12 semaines d'exposition à *Coniophora puteana* des échantillons traités au benzène (MEB). Fig. E - Arrêt de l'altération par *Coniophora puteana* après les 4 premières rangées de cellules des échantillons traités à  $20 \text{ l/m}^3$  (MO). Fig. F - A la concentration de  $30 \text{ l/m}^3$ , mélange dans un rayon des cristaux issus de *Coniophora puteana* et d'autres formations cristallines de nature inconnue (MEB).

Fig. D - Formation of elongated and deep cavities in late wood after 12 weeks of exposure to *Coniophora puteana* of samples treated with benzene (SEM). Fig. E - Stop of decay by *Coniophora puteana* after the 4 first cells of samples treated to  $20 \text{ l/m}^3$  (LM). Fig. F - With the  $30 \text{ l/m}^3$  concentration, mixing in a ray of fungic crystals and other crystal-line unknown formations (SEM).





particulièrement dans les ponctuations simples très larges chez le pin sylvestre (Fig. F).

Ces cristaux octaédriques, typiques de *Coniophora puteana* sont intimement liés à d'autres formations d'aspect cristallin, elles n'ont jamais été observées normalement dans les rayons du pin sylvestre et l'on peut supposer qu'elles proviennent du produit de traitement qui, appliqué à une certaine dose, se déposerait. En ce qui concerne le comportement du champignon, la présence de ces formations cristallines ne semble pas l'empêcher de produire ses propres cristaux (Fig. F).

A ce stade la protection apportée au bois semble effective, en relation avec les taux de pertes de masse obtenus. Cette concentration de produit appliquée peut être considérée, pour la taille des échantillons utilisés et la durée de l'exposition, comme correspondant au seuil d'efficacité reconnu ( $40 \text{ l/m}^3$ ) selon la norme EN-113 sur des éprouvettes de taille plus importante après 16 semaines d'exposition avec ce type de produit sur *C. puteana*. Il faut donc s'attendre dans les conditions de cet essai à une protection complète avec une concentration de  $50 \text{ l/m}^3$ .

— Traitement du bois à  $50 \text{ l/m}^3$  : avec les deux périodes d'exposition, on ne constate aucune manifestation fongique. Comme à la concentration précédente, des formations cristallines probablement issues du produit chloré apparaissent en particulier dans les cellules des rayons. Elles n'ont pas du tout le même aspect que précédemment (Fig. G).

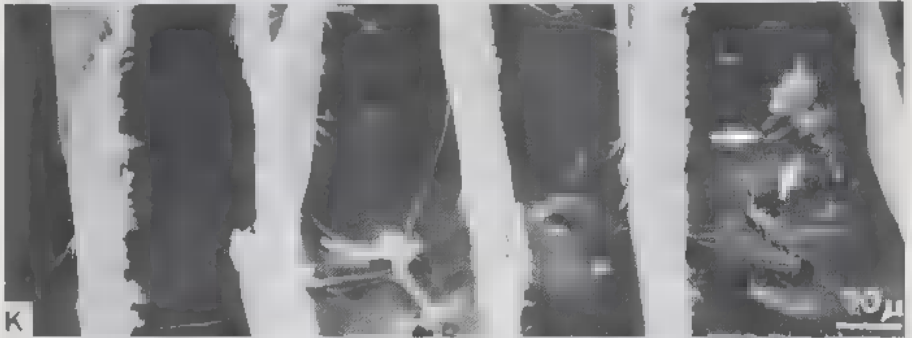
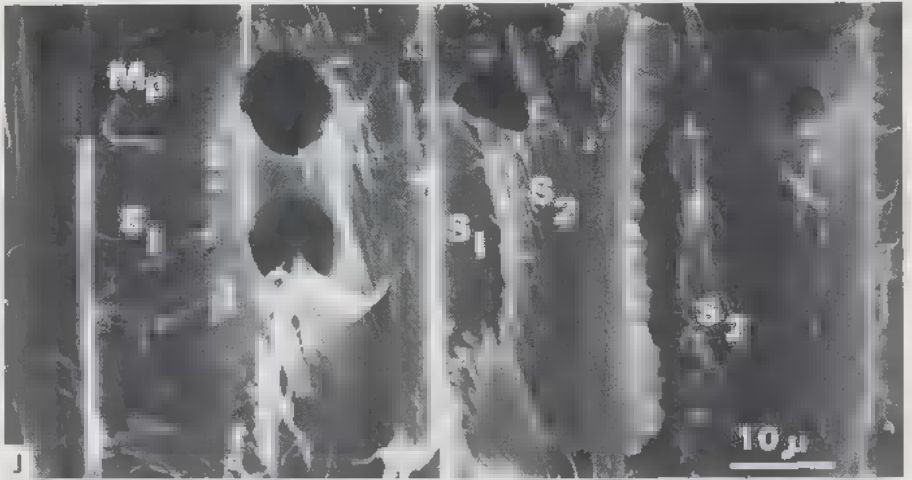
## DÉGRADATION DE L'AUBIER DE PIN SYLVESTRE PAR *TRAMETES VERSICOLOR*

### 1 - Observation des éprouvettes témoin (aucun traitement)

Les hyphes de *Trametes versicolor* ont envahi uniformément après 8 semaines d'exposition les éléments du plan ligneux du pin sylvestre. Les rayons sont très colonisés et les trachéides transversales qui les bordent sont moins dentées et montrent des perforations anormales. Dans les fibres de bois initial et de bois

Fig. G - Formations cristallines provenant de *Coniophora puteana* dans les ponctuations simples d'un rayon après traitement de  $50 \text{ l/m}^3$  (MEB). Fig. H - Portion de fibre de bois initial très perforée sur un fond de paroi délaminiée. Traitement au benzène et exposition 8 semaines à *Trametes versicolor* (MEB). Fig. I - Abondance des perforations dues à *Trametes versicolor* dans les fibres de bois initial des échantillons traités à  $20 \text{ l/m}^3$  exposés 8 semaines (MEB).

Fig. G - Crystalline formations which are not issued from *Coniophora puteana* in the ray pits after treatment with  $50 \text{ l/m}^3$  (SEM). Fig. H - Part of early wood with a lot of perforations ; the cell-wall is laminated. Treatment only with benzene and exposure 8 weeks to *Trametes versicolor* (SEM). Fig. I - Numerous bore-holes due to *Trametes versicolor* in early wood fibers of samples treated with  $20 \text{ l/m}^3$ , exposed during 8 weeks (SEM).



final, deux types de mycélium cohabitent : l'un est très touffu et présente des filaments extrêmement fins, l'autre ■ des hyphes plus larges. Les filaments larges sont à l'origine des trous observés dans la paroi, mais il semblerait que les filaments fins soient capables de perforer également la paroi cellulaire par émission d'ectoenzymes à l'apex. En effet, nous verrons par la suite que différents diamètres de trous sont fréquemment observés. Certaines préparations montrent également un fond de paroi « imprimé » par le filament mycélien, qui semble ainsi avoir émis ses enzymes par toute sa surface créant « des rigoles » dans la  $S_3$  ; ceci a lieu à la fois dans le bois initial et le bois final. Les formes d'altération déjà observées sur le hêtre se retrouvent dans la paroi du pin sous forme de trous « subdivisés » c'est-à-dire dans lesquels il ne reste que des « morceaux » de parois (DIROL, 1976). Les « trous » (bore-holes) sont observés en abondance à tous les niveaux dans la cellule, en microscopie optique, les ponctuations aréolées semblent « évitées » ; l'emplacement du torus paraît très flou.

A ce stade, on peut remarquer par endroits une attaque moins importante du bois final, sa plus grande richesse en cellulose ( $S_2$ ) en serait la cause. Cependant, après 12 semaines, les deux types de bois sont également atteints ce qui semble logique car *Trametes versicolor*, bien qu'étant un agent de pourriture fibreuse capable de dégrader la lignine, peut dégrader simultanément la cellulose (DIROL, 1976).

Après cette période la paroi est très fragilisée du fait du départ des constituants depuis le lumen (DIROL, 1976), les ponctuations très dégradées deviennent jointives et forment des lignes de rupture dans la fibre; au niveau des rayons, les trachéides transversales et le parenchyme sont très désorganisés et certains éléments sont à l'état d'ébauche ou de « moignons » dans les champs de croisement.

## 2 - Observation des éprouvettes uniquement traitées par le solvant (benzène)

L'action du solvant seul n'entraîne pas de modifications profondes si ce n'est une uniformisation de l'altération : trous de différents diamètres mieux répartis sur un fond de paroi délaminée (Fig. H). Après 12 semaines, le bois est fragilisé et des fissures apparaissent.

Fig. J - Délamination irrégulière des parois après 12 semaines d'attaque par *Trametes versicolor* malgré un traitement à  $20 \text{ l/m}^3$  (MEB). (MP : membrane primaire;  $S_1$  et  $S_2$  : couches de la membrane secondaire). Fig. K - Bois traité à  $50 \text{ l/m}^3$ ; les hyphes et les perforations de *Trametes versicolor* sont encore nombreuses à côté de formations cristallines (MEB). Fig. L - Formation cristallines sur le fond des parois dans le bois traité à  $50 \text{ l/m}^3$  et exposé 8 semaines à *Trametes versicolor* (MEB).

Fig. J - Irregular delamination of cell-walls after 12 weeks exposure to *Trametes versicolor* in spite of a  $20 \text{ l/m}^3$  treatment (SEM). (MP : primary wall;  $S_1$  and  $S_2$  : layers of the secondary wall). Fig. K - Treated wood with  $50 \text{ l/m}^3$ ; hyphae and bore-holes due to *Trametes versicolor* are yet numerous inside crystalline formations (SEM). Fig. L - Crystalline formations on cell walls of  $50 \text{ l/m}^3$  treated wood exposed during 8 weeks to *Trametes versicolor* (SEM).

### 3 - Observation de la régression d'attaque après traitement par le produit de préservation chloré

- Traitement du bois à 20 l/m<sup>3</sup> : les échantillons observés après 8 semaines d'exposition montrent par endroits d'importantes plages altérées, les hyphes sont encore présentes et perforent la paroi sous-jacente, avec parfois une intensité plus grande que chez les témoins, donnant à penser à un effet stimulateur (Fig. I).

Pourtant, des plages entières de bois envahi et dégradé voisinent avec des plages exemptes de toute attaque et où aucune hyphe n'est présente. De même, une importante différence d'attaque est observable entre le bois initial et le bois final où peu d'hyphes sont visibles. Toutefois, malgré la présence de plages intactes dans le plan ligneux, les fibres ou amas de fibres attaquées le sont de manière conséquente.

Après une exposition de 12 semaines, le phénomène constaté précédemment est accentué, les filaments mycéliens sont toujours concentrés dans certaines fibres.

La microscopie électronique à balayage montre que le bois final est également dégradé puisque différentes couches ont disparu irrégulièrement (Fig. J). Ainsi, sur le pin, les effets de ce champignon sont les mêmes que ceux observés sur le hêtre (DIROL, 1976), c'est-à-dire un amincissement de la paroi ligneuse depuis la lumière de la cellule.

- Traitement du bois à 30 l/m<sup>3</sup> : l'examen du plan ligneux montre encore après 8 semaines d'exposition, la présence de nombreux filaments mycéliens groupés dans certaines fibres parfois sous forme de « touffes ». Dans l'ensemble les perforations sont moins nombreuses mais, comme pour la concentration précédente, se trouvent groupées en amas. Certaines fibres, par contre, paraissent indemnes. Après une exposition de 3 mois, on ne constate pas d'altération plus importante; des plages de « trous » sont encore visibles sur un fond de paroi abimé.

- Traitement du bois à 50 l/m<sup>3</sup> : cette dose plus importante de produit entraîne, après 8 semaines, une légère diminution du nombre de perforations. Cependant, on les trouve encore associées aux hyphes (Fig. K). A cette concentration apparaissent des formations cristallines sous forme d'amas et de bâtonnets rappelant celles observées précédemment avec *Coniophora puteana* (Fig. L et M). Ce champignon ne formant pas de cristaux habituellement, ces formations ne seraient pas d'origine fongique mais seraient plutôt issues du produit de préservation appliqué. Cependant, comme on peut le voir sur la Fig. M, elles ne semblent pas entraver l'action de destruction du champignon puisqu'elles jouxtent une hyphe et deux perforations de nature fongique.

Le fait d'observer, dans le bois traité aux doses précédentes, des plages d'attaques et des zones intactes laisse supposer une diffusion très irrégulière du fongicide. Par contre, l'observation simultanée de l'hyphe du champignon, des trous créés par son action enzymatique à proximité des cristaux d'origine



Fig. M - Hyphae créatrices de perforations et formations cristallines non fongiques dans le bois traité à 50 l/m<sup>3</sup> exposé 8 semaines à *Trametes versicolor* (MEB). Fig. N - Hyphae de *Trametes versicolor* dégénérescentes dans le bois traité à 50 l/m<sup>3</sup> et exposé pendant 12 semaines (MEB).

Fig. M - Hyphae making bore-holes and non fungic crystalline formations in 50 l/m<sup>3</sup> treated wood exposed to *Trametes versicolor* during 8 weeks (SEM). Fig. N - Degenerating hyphae of *Trametes versicolor* in 50 l/m<sup>3</sup> treated wood exposed during 12 weeks (SEM).

«chimique» donne à penser que *T. versicolor* offre une résistance à l'action du produit. Celle-ci est peut-être limitée car, après 12 semaines d'exposition, bien qu'il y ait des plages très attaquées et des fibres avec des hyphes en grande quantité, certaines ont des filaments présentant des interruptions qu'une préparation particulière par point critique ne pourrait compenser. Il s'agit plutôt d'une dégénérescence, bien visible sur la Fig. N. Ces débris d'hyphes n'avaient pas été observés aux concentrations précédentes.

## DISCUSSION

Le fait important apparu après ces observations consiste en la présence à partir d'une certaine dose de produit ( $30 \text{ l/m}^3$  avec *Coniophora puteana* et  $50 \text{ l/m}^3$  avec *Trametes versicolor*) de formations cristallines d'aspect varié dans les rayons et les fibres du bois. Ces formations ne semblent pas, pour *T. versicolor* en particulier, gêner l'action du champignon et le problème de leur nature chimique demande à être étudié. Il n'est pas évident que les cristaux observés soient constitués de pentachlorophénol, matière active fongicide très efficace. A partir d'une certaine concentration du produit (dont on sait qu'il est constitué de pesticides et de fixateurs qui sont souvent des polymères synthétiques ou naturels à résines) il pourrait y avoir des formations particulières — résines par exemple cristallisées ou bien mélange PCP-résine dans lequel le PCP englobé dans le polymère n'aurait plus d'efficacité vis-à-vis du champignon. Cette dernière hypothèse reste à vérifier dans des bois traités à des doses élevées de produit pour lesquelles les solutions saturées trop riches déposeraient sans avoir d'action fongicide. La résistance bien connue de *T. versicolor* aux doses pourtant létales pour les autres champignons de pourriture cubique pourrait donc s'expliquer. Quoi qu'il en soit, l'observation au microscope électronique à balayage d'une goutte du produit de préservation chloré après séchage n'a pas du tout révélé la formation de cristaux comparables puisqu'il s'agit plutôt d'une formation amorphe; ainsi la cristallisation n'a peut être lieu qu'à l'intérieur du bois.

## CONCLUSION

Le comportement des deux types de champignons étudiés par des observations microscopiques ne diffère en rien de celui constaté maintes fois avec les 4 champignons de la Norme EN-113 lors d'étude des seuils d'efficacité des produits de préservation à base de pentachlorophénol. Le champignon de pourriture cubique constaté très virulent sur du bois non traité devient rapidement «amoindri» avec une faible concentration de produit; il faudrait des doses minimales pour étudier une vraie confrontation produit-champignons. Il est certain que tout bois traité à raison de  $40 \text{ l/m}^3$  sera protégé efficacement contre les champignons de pourriture cubique; c'est d'ailleurs ce qui est conseillé dans la pratique. En ce qui concerne *Trametes versicolor* les concentrations étudiées dans le cas présent

sont tout à fait inefficace et une réelle confrontation n'a lieu qu'à des doses supérieures à 50 l/m<sup>3</sup>. Cette remarque corrobore les résultats toujours semblables, obtenus avec du hêtre, dans l'étude des seuils d'efficacité des produits chlorés; le seuil est toujours très élevé, pratiquement égal à 250 l/m<sup>3</sup>.

Le problème de l'association hêtre - *Trametes versicolor* soulevé de nombreuses fois lors des résultats des essais de seuils, en particulier à l'échelle européenne, s'étend à l'association Pin sylvestre - *Trametes versicolor*. Dans le cas présent on ne connaît pas les valeurs du seuil d'efficacité sur le pin mais d'après cette étude, on peut supposer qu'elles sont également élevées. Le problème ne serait donc pas comme on le pensait fortement lié à l'essence de bois mais au champignon lui-même. Cependant, l'observation dans cette étude de formations cristallines à partir de 50 l/m<sup>3</sup> dans les deux cas donne à penser que le comportement même du produit de préservation au niveau de la paroi cellulaire peut amener des changements dans la virulence du champignon. Il serait donc intéressant de connaître la nature exacte des formations cristallines et leur fréquence à partir d'une certaine concentration. Il semble en effet que le rôle du fongicide ne soit pas négligeable car, en observant les pertes de masse obtenues sur les échantillons témoins *Trametes versicolor* ne montre pas une virulence importante (10 % à 8 semaines) par rapport à *Coniophora puteana* (51 %); et pourtant il provoque toujours des dégradations de la paroi à 50 l/m<sup>3</sup> alors que *C. puteana* a autant dire déjà disparu à 30 l/m<sup>3</sup>.

#### REMERCIEMENTS :

L'auteur remercie Françoise THOMASSIN pour sa collaboration technique (Microscopie électronique à balayage).

#### BIBLIOGRAPHIE

- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, 1980 - Produit de préservation du bois. Détermination du seuil de l'efficacité contre les champignons basidiomycètes lignivores cultivés sur milieu gélosé. NF X 41 - 552 (EN-113).
- DIROL D., 1976 - Étude *in vitro* de la colonisation et de la dégradation structurale du bois par *Coriolus versicolor* (L.). *Rev. Mycol. (Paris)* 40 : 295-317.
- DIROL D., 1978 - Étude *in vitro* de la colonisation et de la dégradation structurale du bois d'aubier de Pin sylvestre par la Mérule *Serpula lacrymans* (Schum. ex Fr.) S.F. Gray. *Rev. Mycol. (Paris)* 42 : 277-292.
- DIROL D., 1986 - Investigation on different variation factors in the results of mycological test and means to reduce and avoid them. The International Research group on Wood Preservation. Document n° IRG/WP/2264. Stockholm, IRG Secretariat, 1.14.
- HIGHLEY T.L. and MURMANIS L.L., 1984 - Ultrastructural aspects of cellulose decomposition by white-rot fungi. *Holzforschung* 36 : 73-78.
- KARRIK A., 1978 - Monographic Card *Coniophora puteana* (Schum. ex Fr.) Karst. The

- International Research Group on Wood Preservation. Document n° IRG/WP/171. Stockholm, IRG Secretariat, 1.14.
- LIESE W., 1970 – Ultrastructural aspects of woody tissue disintegration. *Annual Rev. Phytopathol.* 8 : 231-258.
- NOBLES M.K., 1948 – Studies in forest pathology. VI. Identification of cultures of wood rotting fungi. *Canad. J. Res., Sect. C., Bot. Sci.* 26 : 281-431.
- PARAMESWARAN N. and LIESE W., 1982 – Ultrastructural localization of wall components in wood cells. *Holz Roh Werkstoff* 40 : 145-155.
- RUEL K., BARNOUD F. and ERIKSSON K.E., 1981 – Micromorphological and ultrastructural Aspects of Spruce Wood Degradation by wild-Type *Sporotrichum pulverulentum* and its cellulose - less Mutant cel 44. *Holzforschung* 35 : 157-171.
- WILCOX W.W., 1970 – Anatomical changes in wood cell walls attacked by fungi and bacteria. *Bot. Rev. (Lancaster)* 36 : 1-28.
- WILCOX W., PARAMESWARAN N. and LIESE W., 1974 – Ultrastructure of brown rot in wood treated with pentachlorophenol. *Holzforschung* 28 : 211-217.
- ZICHERMAN J.B., 1975 – SEM X-Ray analysis of PCP in treated wood. *Wood & Fiber* 7 : 110-118.